

SPH-DEM 連成解析を用いた地震と津波が同時に作用する際の 液状化による混成堤の沈下に関する検討

東電設計(株)	学生会員	○岩本 哲也	正会員	中瀬 仁
港湾空港技術研究所			正会員	大矢 陽介
(国研) 海洋研究開発機構	非会員	西浦 泰介	正会員	阪口 秀
京都大学工学研究科			正会員	清野 純史

1. 目的と背景

2011 年東北地方太平洋沖地震において、津波と地震の複合的な作用による沿岸構造物の被害が注目された。本稿では、地盤の液状化に対する SPH-DEM 連成解析の適用性について検討し、DEM 地盤モデルの液状化強度曲線の算定を実施したほか、砂地盤上の混成堤モデルに津波と加振が同時に作用した際の挙動について解析的に検討した。

2. 解析手法

本手法¹⁾では、間隙水を Smoothed Particle Hydrodynamics (以下 SPH) でモデル化し、砂地盤、捨石および構造物を Distinct Element Method (以下 DEM) でモデル化した。砂地盤の形状効果による摩擦力に対応する計算モデルとして転がり摩擦を導入している。外力により DEM 地盤モデルの粒子配置に幾何学的な変化が生じ、間隙率を変数として含む SPH の状態方程式に基づいて地盤内の間隙水圧が上昇する、という実際の地盤内の挙動に近い物理モデルである点が、本手法の特徴である。**モデルの作成：** まず DEM 粒子を自由落下させることで、幅 0.93m、高さ 0.13m、奥行 0.08m の三次元地盤モデルを作成した(図-1)。その際、転がり摩擦パラメータが 0.15 の疎地盤モデル、転がり摩擦パラメータが 0.05 の密地盤モデルをそれぞれ作成した。そして、作成した地盤モデルの間隙を SPH 粒子で満たし、飽和地盤モデルを作成した。

3. 解析結果

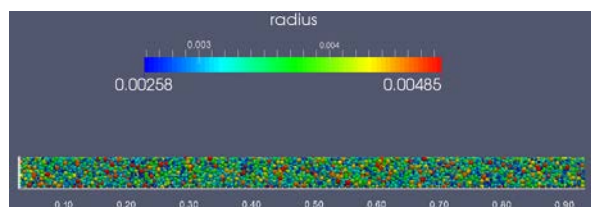
液状化強度の評価： 作成した地盤モデルに、重力加速度(本稿では 70G 場の遠心実験を想定)に対して 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 の倍率の最大振幅を持つ 10Hz の正弦波を入力し、この倍率を応力比として液状化強度曲線を整理した(図-2)。ここでは、モデル中央下部の所定の領域の DEM の接触力が、初期状態から 1 割を下回った時点で、液状化したものとみなした²⁾。**液状化による矩形構造物の沈下：** 液状化強度の評価において作成した疎地盤モデルおよび密地盤モデルの上に 0.1m 四方、奥行 0.08m の DEM 構造物モデル(密度: 2350 kg/m³)を設置し(図-3)、液状化による構造物の沈下量について検討した(図-4)。入力波形はシナリオ L2 地震動(最大 487gal, 継続時間 100 秒程度)とした。**液状化による混成堤の沈下：** 液状化強度の評価において作成した疎地盤モデルの上に、DEM 混成堤モデル(腹付けあり捨石マウンド)を設置し(図-5(a))、所定の水位(図-5(b'))に対する液状化による混成堤の沈下について検討した。入力波形は 600gal, 10Hz の正弦波とした。既往の実験等と同様に、混成堤は概ね左右対称に沈下した(図-5(b))。**津波と加振による液状化が同時に作用した際の混成堤の挙動：** 前段で作成した混成堤モデルに対し、港内側と港外側に水位差をつけ 600gal, 10Hz で加振し疎地盤を液状化させた。紙面右方からの津波外力と地盤の液状化に伴い、紙面やや左下に向けて、円弧すべりに近い変形が見受けられた(図-5(c))。なお、初期状態の港外側水位はケーソン上端程度のレベル(図-5(c'))だが、地盤の沈下により、越流が多少発生した。

参考文献

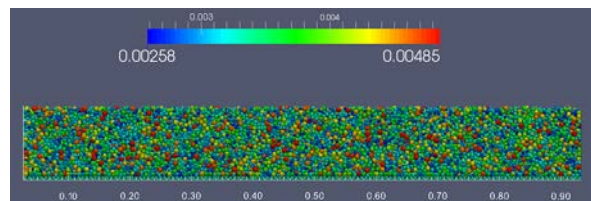
- 1) 岩本哲也, 中瀬仁, 西浦泰介, 鶴ヶ崎和博, 宮本順司, 清野純史: 津波による防波堤捨石マウンドの変形問題における流体抗力モデルに基づいた SPH-DEM カップリング解析の適用性, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 71, No. 2, I_579-I_586, 2015.
- 2) 岩本哲也, 中瀬仁, 大矢陽介, 西浦泰介, 阪口秀, 清野純史: SPH-DEM 連成解析を用いた飽和地盤の液状化に関する基礎的検討, 土木学会, 第 20 回応用力学シンポジウム, 2017 (投稿中)。

キーワード メッシュフリー, 液状化, 飽和地盤, 大変形, 混成堤, 沈下, 津波

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計(株) TEL 03-6372-5520



(a) 平面図 (奥行き 0.08m)



(b) 断面図 (幅 0.93m, 高さ 0.13m)

図-1 液状化強度評価解析モデル (密地盤モデル)

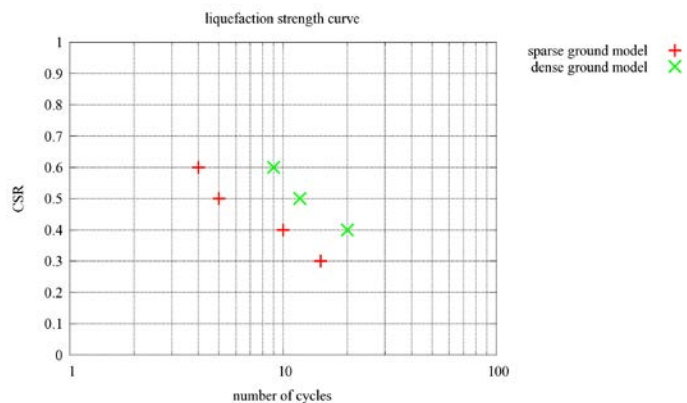
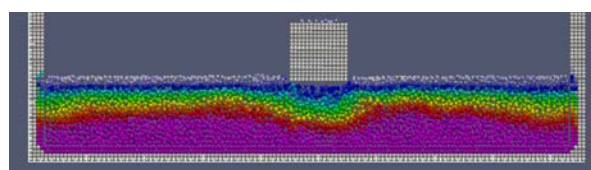
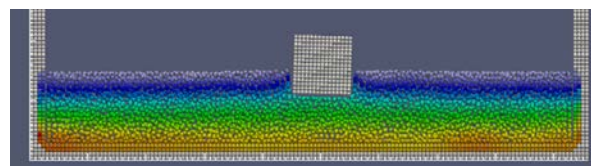


図-2 液状化強度曲線



(a) 加振中



(b) 加振後

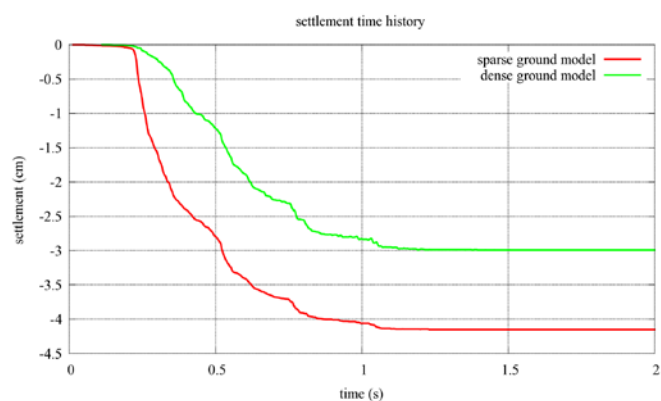
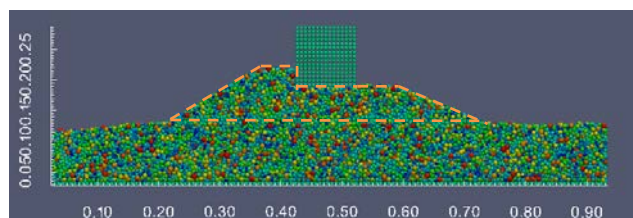
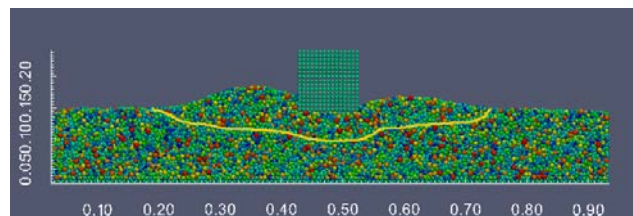
図-3 沈下の様子と水圧分布 (密地盤モデル, 単位: N/m²)

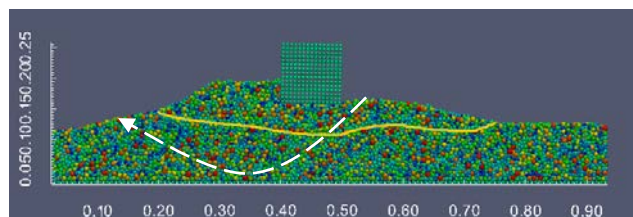
図-4 沈下量の時刻歴



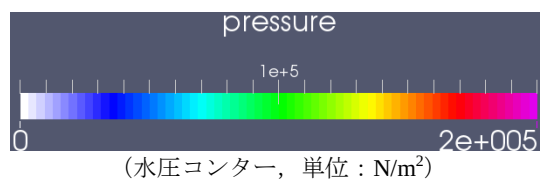
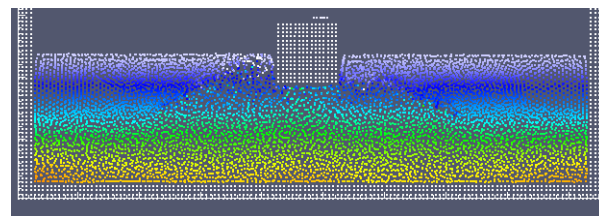
(a) 初期状態



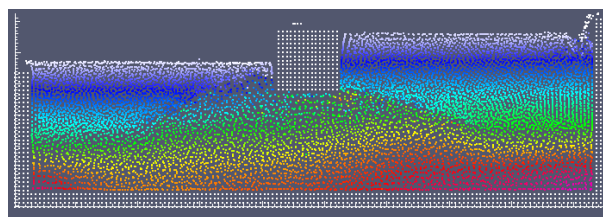
(b) 加振のみ作用



(c) 加振と津波が作用

(水圧コンター, 単位: N/m²)

(b') 加振のみ作用のケースの初期水位



(c') 加振と津波が作用のケースの初期水位

図-5 初期状態の水位と混成堤の変形の様子